

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-076890

(43)Date of publication of application : 15.03.2002

(51)Int.Cl.

H03L 7/26

H01S 1/06

(21)Application number : 2000-263321

(71)Applicant : NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED
INDUSTRIAL & TECHNOLOGY
ANRITSU CORP

(22)Date of filing : 31.08.2000

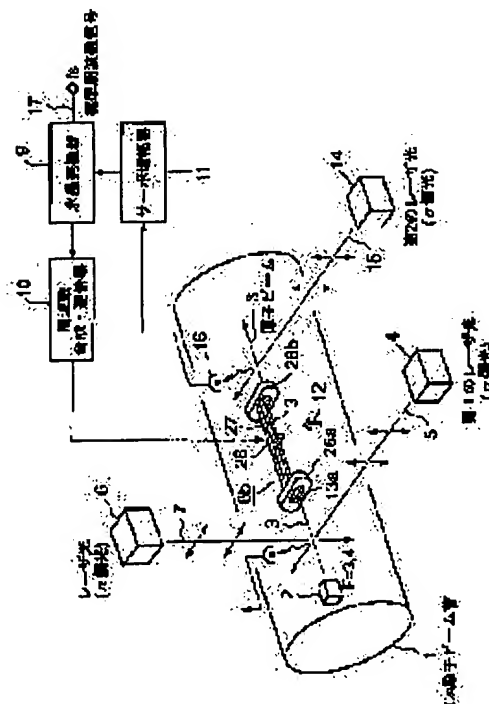
(72)Inventor : HAGIMOTO KEN
KOGA YASUYOSHI
TAKAHEI KENICHIRO

(54) ATOMIC FREQUENCY STANDARD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an atomic frequency standard that has high frequency accuracy with a simple configuration.

SOLUTION: In the atomic frequency standard, which has a cavity resonator 8b that applies microwave transition to atomic beams 3 arranged to a single energy state into another energy state and which outputs a frequency of a microwave for obtaining the maximum number of the transitted atoms and applied to the cavity resonator as a standard frequency signal, the cavity resonator 8b consists of a couple of H-bend type ring resonators 26a, 26b along a path of atoms and placed opposite to each other, of a microwave introduction tube 27 the both end openings of which are communicatively connected to the inside of the ring resonators at a position on a circumference at the opposed faces of each of the H-bend type ring resonators and in the middle part of which an input port 28 of a microwave is formed, and through-holes 13a, 13b that are formed at a position opposite by 180-degrees to a circumferential position at which the microwave introduction tube is fitted to each H-bend type ring resonator and through which the atom beams 3 pass.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

30.07.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the
examiner's decision of rejection or application converted
registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of
rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-76890

(P2002-76890A)

(43)公開日 平成14年3月15日(2002.3.15)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 3 L 7/26

H 0 3 L 7/26

5 J 1 0 6

H 0 1 S 1/06

H 0 1 S 1/06

審査請求 未請求 請求項の数1 O L (全 8 頁)

(21)出願番号

特願2000-263321(P2000-263321)

(22)出願日

平成12年8月31日(2000.8.31)

(71)出願人 301021533

独立行政法人産業技術総合研究所

東京都千代田区霞が関1-3-1

(74)上記1名の復代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦

(71)出願人 000000572

アンリツ株式会社

東京都港区南麻布5丁目10番27号

(74)上記1名の代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦

(72)発明者 萩本 憲

茨城県つくば市梅園一丁目1番4 工業技術院計量研究所内

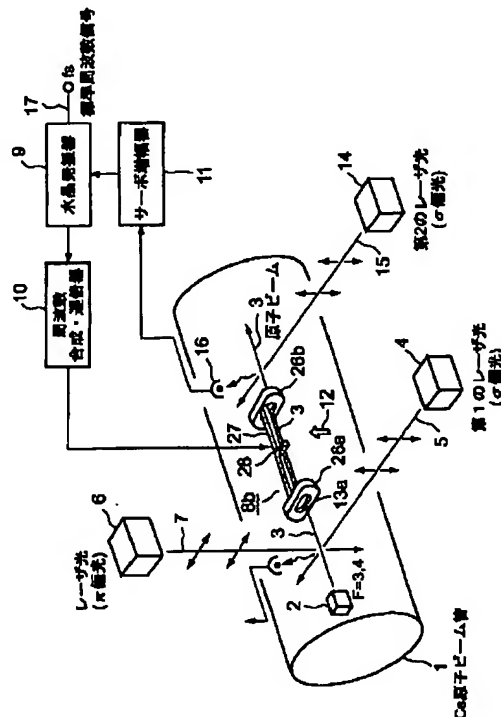
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 原子周波数標準器

(57)【要約】

【課題】 簡単な構成で高い周波数精度を得る。

【解決手段】 単一のエネルギー状態に揃えられた原子ビーム3に対して、空洞共振器8bで別の1つのエネルギー状態にマイクロ波遷移を行ない、その遷移された原子の数量が最大となる空洞共振器に印加するマイクロ波の周波数を標準周波数信号として出力する原子周波数標準器において、空洞共振器8bを、原子の経路に沿い、かつ互いに対向して配設された一対のHバンド型リング共振器26a、26bと、両端開口が各Hバンド型リング共振器の互いに対向する面における周上一カ所で当該リング共振器内に連通し、かつ中央部にマイクロ波の入力口28が形成されたマイクロ波導入管27と、各Hバンド型リング共振器におけるマイクロ波導入管が取り付けられた周上位置の180°反対側位置に形成された原子3が通過する貫通孔13a、13bとで構成している。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 原子ビーム発生器(2)から出射された原子ビーム(3)の原子を2つのエネルギー状態の1つに統一し、この単一のエネルギー状態に対して、マイクロ波の磁界に平行する静磁界が印加された状態の空洞共振器(8b)でマイクロ波遷移を行なって別の1つのエネルギー状態に遷移させ、この遷移された原子の数量を検知することにより、その原子の数量が最大となる前記空洞共振器に印加するマイクロ波の周波数を標準周波数信号(17)として出力する原子周波数標準器において、前記空洞共振器(8b)は、前記原子の経路に沿い、かつ互いに対向して配設された一対のHベンド型リング共振器(26a、26b)と、両端開口が前記各Hベンド型リング共振器の互いに対向する面における周上一カ所で当該リング共振器内に連通し、かつ中央部に前記マイクロ波の入力口(28)が形成されたマイクロ波導入管(27)と、前記各Hベンド型リング共振器における前記マイクロ波導入管が取り付けられた周上位置の180°反対側位置に形成された前記原子が通過する貫通孔(13a、13b)とを備えたことを特徴とする原子周波数標準器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、原子のエネルギー状態が遷移するときに吸収又は放出される電磁波の周波数を用いて標準周波数を得る原子周波数標準器に係わり、特に、原子のエネルギー状態に対してマイクロ波遷移を行なわせるための空洞共振器を改良した原子周波数標準器に関する。

【0002】

【従来の技術】1967年に「秒」の定義にセシウム(^{133}Cs)原子のエネルギー遷移が採用されてから、このセシウム(^{133}Cs)原子のエネルギー遷移を用いて、いかに高い精度で時刻(時間)を測定するかの研究がなされてきた。この測定精度は、近年、相対精度が $10^{-13} \sim 10^{-14}$ のオーダーまで上昇している。したがって、現在まで、このように高い精度の標準周波数信号を出力する原子周波数標準器が開発され実用化されている。

【0003】この原子周波数標準器に利用されるセシウム(^{133}Cs)原子の遷移を図5に示す。図5において、セシウム(^{133}Cs)原子の基底状態($6^1S_{1/2}$)における超微細準位をFで示し、励起状態($6^1P_{3/2}$)における超微細準位をF'で示した。

【0004】セシウム(^{133}Cs)原子の基底状態($6^1S_{1/2}$)は、F(準位)=4、3の超微細準位を有している。そして、標準周波数信号の作成に使用される遷移は $[(F=4, m_F=0) \rightarrow (F=3, m_F=0)]$ 又は $[(F=4, m_F=0) \leftarrow (F=3, m_F=0)]$ である。但し、 m_F は磁気量子数である。この遷移を特ニクロック遷移と称する。セシウム原子のエネルギー状態を

一つの超微細準位に揃えるには、移動中の原子(原子ビーム)に対して、磁界を印加するか、又は、セシウム(^{133}Cs)原子のD₂線(光)の波長 λ (=852.1nm)と同一波長を有するレーザ光を印加(光ポンピング)すればよい。

【0005】原子を単一のエネルギー状態に揃えるために光ポンピングを利用した原子周波数標準器は、例えば、図4に示すように構成されている。

【0006】 $10^{-3} \sim 10^{-6}$ Pa(パスカル)の高真空状態に維持されたCs原子ビーム管1内に配設された原子ビーム発生器としてのCs炉2から加熱されて蒸気状態になったセシウム(^{133}Cs)原子の原子ビーム3が出力される。このCs炉2から出力された原子ビーム3の原子のエネルギー状態は、図5のエネルギー状態における基底準位F=4と基底準位F=3とに均等に分布している。

【0007】このエネルギー状態の原子ビーム3に対して、第1のレーザ光源4から出力されたセシウム(^{133}Cs)原子のD₂線(光)と同じ波長を有した σ 偏光された第1のレーザ光5、及び第3のレーザ光源6から出力されたD₂線(光)と同じ波長を有した π 偏光された第3のレーザ光7が照射される。この各レーザ光5、7による光ポンピング作用により、原子ビーム3の基底準位F=4のエネルギー状態の原子は励起準位F'=4へ励起され、その後極く短時間(30ns)でF=4、F=3へ落ちるが、基底準位F=3の原子は励起されないの、結果として、Cs炉2から出射された原子ビーム3の原子のエネルギー状態は基底準位F=3に遷移する。

【0008】エネルギー状態が基底準位F=3に遷移された原子ビーム3はラムゼイ(Ramsey)型の空洞共振器8へ入射される。

【0009】この空洞共振器8には、水晶発振器9で発振され、周波数合成・通倍器10で図5のエネルギー準位図における基底準位の周波数(励振周波数 ν)9193MHzに仮設定されたマイクロ波が印加されている。なお、水晶発振器9の発振周波数はサーボ増幅器11にて可変制御される。さらに、この空洞共振器8には、原子ビーム3の進行方向に直交する方向に一樣な静磁界(C磁界)12が印加されている。この一樣な静磁界(C磁界)12を印加する理由は、空洞共振器8を用いた所定のマイクロ波遷移の効率を上げると共に、不要なマイクロ波遷移を抑制するためである。

【0010】空洞共振器8へ入射されたエネルギー状態が基底準位F=3に遷移された原子ビーム3の原子は、この空洞共振状態の空洞共振器8の両端に穿設された一対の貫通孔13a、13bを通過する過程で、マイクロ波遷移が行われ、エネルギー状態が基底準位F=4へ移る。

【0011】空洞共振器8を通過してエネルギー状態が基底準位F=4になった原子ビーム3の原子は、第2のレーザ光源14から出力された第1のレーザ光5に近い波

長を有した σ 偏光された第2のレーザ光15が照射される。その結果、この第2のレーザ光15によって、原子ビーム3の基底準位 $F=4$ のエネルギー状態にある原子は励起準位 $F'=5$ へ励起され、ごく短時間の後に蛍光を発して元の基底準位 $F=4$ に戻ることを繰り返す。

【0012】この遷移する過程で放出される原子ビーム3の原子からの蛍光を光検出器16で検出する。光検出器16は、検出した蛍光の光量を電気信号（ビーム電流）に変換してサーボ増幅器11へ送出する。サーボ増幅器11は、水晶発振器9の発振周波数 f を順次変化させていって、入力した光量（ビーム電流）が最大値となる発振周波数 f を検出する。そして、この発振周波数 f を標準周波数 f_s とする。

【0013】図6に、空洞共振器8に印加するマイクロ波の周波数（励振周波数 ν ）と、検出される原子ビーム3の光量（ビーム電流）との関係を示す。励振周波数 ν が共振周波数 ν_r に一致した場合に、ビーム電流は鋭いピークを示すことが理解できる。したがって、この時点で、水晶発振器9から出力される信号が標準周波数信号17となる。

【0014】図7は、このような構成の原子周波数標準器におけるラムゼイ（Ramsey）型の空洞共振器8の詳細構成を示す斜視図であり、図8は正面図である。この空洞共振器8は、原子ビーム3が通過する貫通孔13a、13bが形成され互いに対向する一対の垂直部18a、18bと、各垂直部18a、18bに連通する水平部19a、19bとマイクロ波入力部20とで構成されている。

【0015】このような構成のラムゼイ（Ramsey）型の空洞共振器8に対して、マイクロ波入力部20から、この空洞共振器8の一対の垂直部18a、18bと各水平部19a、19bとの寸法で定まる共振周波数 ν_r を有するマイクロ波を印加すると、空洞共振器8内にマイクロ波の多数の定在波が発生する。図7、図8において、実線矢印は各定在波の最大の電界発生位置とその位置での電界方向を示し、点線矢印は各定在波の最大の磁界発生位置とその位置での磁界方向を示す。

【0016】図示するように、原子ビーム3が通過する貫通孔13a、13bは各垂直部18a、18bにおける定在波の最大の磁界発生位置でこの磁界方向に直交する方向に穿設されている。このように、定在波の最大の磁界発生位置に原子ビーム3を通すことにより、マイクロ波遷移をより効率的に行なえる。

【0017】そして、原子ビーム3が通過する貫通孔13a、13b位置における点線矢印で示すマイクロ波の磁界方向に平行する静磁界12を印加するための一対のコイル21a、21bがこの空洞共振器8を側方から挟むように配設されている。

【0018】しかしながら、図7、図8に示すラムゼイ（Ramsey）型の空洞共振器8においては次のような問題

がある。

【0019】すなわち、マイクロ波入力部20から入力されたマイクロ波は水平部19a、19bを経由して垂直部18a、18bの底面で反射することによって定在波を形成する。しかし、底面における反射特性は、空洞共振器8の底部の材質や表面状態により微妙に異なる。その結果、定在波の発生位相が微妙に変動する。

【0020】定在波の位相が変動することは、原子ビーム3が通過する貫通孔13a、13b位置におけるマイクロ波の磁界強度や電界強度が変動することになる。マイクロ波の磁界強度や電界強度が変動すると、この空洞共振器8を用いた原子ビーム3に対するマイクロ波遷移の遷移率が変動する。その結果、光検出器16で検出されるビーム電流が変動し、出力される標準周波数信号17の周波数が変動し、得られる標準周波数 f_s も誤差が増大する。

【0021】このような不都合を解消するために、図9に示す、一対のEバンド型リング共振器を用いた空洞共振器8aが提唱されている。

【0022】この空洞共振器8aは、原子ビーム3の経路に沿い、かつ互いに対向して配設された一対のEバンド型リング共振器22a、22bと、両端開口が各Eバンド型リング共振器22a、22b内に連通し、中央部にマイクロ波入力口24が形成されたマイクロ波導入管23とで構成されている。

【0023】このような構成の空洞共振器8aにおいて、マイクロ波入力口24から入力されたマイクロ波は、マイクロ波導入管23を経由して、各Eバンド型リング共振器22a、22bへ進入する。マイクロ波導入管23から各Eバンド型リング共振器22a、22bへ進入したマイクロ波は、図10において二点鎖線で示すように、二方向に分離してEバンド型リング共振器22a、22b中を互いに逆向きに進行する。

【0024】そして、このマイクロ波導入管23が取付けられた周上位置の180°反対側位置に、原子ビーム3の貫通孔13a、13bが穿設されている。この位置では、2つの向きのマイクロ波は強度が同一で合成された結果、その進行波成分は0となる。つまり、マイクロ波の位相分布は小となり、これによる周波数誤差は小さくなる。

【0025】したがって、マイクロ波入力口24から、この空洞共振器8aのマイクロ波導入管23と各Eバンド型リング共振器22a、22bとの寸法で定まる共振周波数 ν_r を有するマイクロ波を印加すると、空洞共振器8a内にマイクロ波の多数の定在波が発生する。

【0026】具体的には、図9、図10に示すように、マイクロ波の各定在波の最大の電界発生位置とその位置での電界方向は、各Eバンド型リング共振器22a、22bの周方向の各位置に実線矢印で示される位置と方向

である。したがって、この電界方向は原子ビーム3の方向と直交している。一方、マイクロ波の各定在波の最大の磁界発生位置とその位置での磁界方向は各Eベンド型リング共振器22a、22bの軸方向に点線矢印で示される位置と方向である。したがって、この磁界方向は原子ビーム3の方向と平行である。

【0027】このようなモードでマイクロ波の各定在波が発生するためには、各Eベンド型リング共振器22a、22bにおける原子ビーム3方向（磁界方向）の幅Wを、原子ビーム3方向と直交する方向（電界方向）の高さTより2倍以上大きく設定する必要がある。なお、このように、リング型の共振器において、周方向に向かって電界方向が変化していくのをEベンド型リング共振器と称する。

【0028】このように、各Eベンド型リング共振器22a、22b内において、マイクロ波は、共振器内の壁面や底面で反射されることなく、定在波が形成されるので、この形成された定在波の位相（最大電界位置や最大磁界位置）が共振器内の位置によって変動することはない。

【0029】したがって、マイクロ波導入管23が取り付けられた周上位置の180°反対位置、すなわち、定在波の磁界の最大位置に形成された貫通孔13a、13b位置においては、電界変動や磁界変動は生じない。よって、原子ビーム3に対するマイクロ波遷移の遷移率が変動することはないので、出力される標準周波数信号17の周波数変動を極力抑制でき、得られる標準周波数f、の精度が上昇する。

【0030】

【発明が解決しようとする課題】しかし、図9、図10に示すような一對のEベンド型リング共振器22a、22bを用いた空洞共振器8aが組込まれた原子周波数標準器においてもまだ次のような課題があった。

【0031】すなわち、先述したように、原子ビーム3に対する所定のマイクロ波遷移の効率を上げると共に不要なマイクロ波遷移を抑制するために、空洞共振器8aを含む領域に一樣な静磁界（C磁界）12を与えておく必要がある。そして、この静磁界（C磁界）12の方向は、原子ビーム3が通過する貫通孔13a、13b位置におけるマイクロ波の磁界方向と一致させる必要がある。

【0032】この空洞共振器8aにおいては、磁界方向と原子ビーム3の方向が一致しているので、原子ビーム3の方向の静磁界（C磁界）12を発生させるためには、図11に示すような、空洞共振器8a全体を覆う円筒状コイル25を設ける必要がある。

【0033】しかし、空洞共振器8a全体を覆う円筒状コイル25を設置するには、原子周波数標準器全体の構成が複雑化するとともに、装置全体が大型化し、かつ製造費が上昇する。

【0034】本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、共振器内の定在波の位相変動を抑制し、出力される標準周波数を高い精度に維持した状態で、簡単な構成でマイクロ波の磁界方向と一致する静磁界（C磁界）を発生させることができ、簡単な構成で高精度の原子周波数標準器を提供することを目的とする。

【0035】

【課題を解決するための手段】本発明は、原子ビーム発生器から出射された原子ビームの原子を2つのエネルギー状態の1つに統一し、この単一のエネルギー状態に対して、マイクロ波の磁界に平行する静磁界が印加された状態の空洞共振器でマイクロ波遷移を行なって別の1つのエネルギー状態に遷移させ、この遷移された原子の数量を検知することにより、その原子の数量が最大となる空洞共振器に印加するマイクロ波の周波数を標準周波数信号として出力する原子周波数標準器に適用される。

【0036】そして、上記課題を解消するために、本発明の原子周波数標準器に組込まれた空洞共振器は、原子の経路に沿い、かつ互いに対向して配設された一對のHベンド型リング共振器と、両端開口が各Hベンド型リング共振器の互いに対向する面における周上一カ所で当該リング共振器内に連通し、かつ中央部にマイクロ波の入力口が形成されたマイクロ波導入管と、各Hベンド型リング共振器におけるマイクロ波導入管が取り付けられた周上位置の180°反対側位置に形成された原子が通過する貫通孔とを備えている。

【0037】このように構成された原子周波数標準器に組込まれた空洞共振器においては、従来における一對のEベンド型リング共振器の代わりに、一對のHベンド型リング共振器が用いられる。Eベンド型リング共振器が、前述したように、リング型の共振器において周方向に向かって電界方向が変化していくのに対して、Hベンド型リング共振器においては、リング型の共振器において周方向に向かって磁界方向が変化していく。

【0038】したがって、このHベンド型リング共振器においては、マイクロ波の磁界方向は、各Hベンド型リング共振器におけるマイクロ波導入管が取り付けられた周上位置の180°反対側位置に形成された貫通孔を通る原子ビームの方向と直交する。よって、マイクロ波の磁界方向に平行に印加する必要がある静磁界（C磁界）は原子ビームの方向と直交する方向に印加すればよいので、Eベンド型リング共振器を用いた従来装置のように円筒状コイルを用いる必要がないので、コイルの構成を簡素化できる。

【0039】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施形態を図面を用いて説明する。図1は実施形態に係る原子周波数標準器の概略構成図である。図4に示す従来の原子周波数標準器と同一部分には同一符号を付して重複する部分の詳細説明を省略する。

【0040】この実施形態の原子周波数標準器においては、図4に示す従来の原子周波数標準器におけるラムゼイ(Ramsey)型の空洞共振器8の代わりに、一対のHバンド型リング共振器26a、26bを用いた空洞共振器8bが組込まれている。この空洞共振器8b以外は、図4に示した従来の原子周波数標準器とはほぼ同一構成である。

【0041】このような構成の原子周波数標準器において、Cs原子ビーム管1内に配設された原子発生器としてのCs炉2から射出された基底準位 $F=4$ と基底準位 $F=3$ とに均等に分布されたエネルギー状態を有する原子ビーム3に対して、第1のレーザ光源4から出力されたセシウム原子の D_1 線(光)と同じ波長を有した第1のレーザ光5、及び第3のレーザ光源6から出力された D_2 線(光)と同じ波長を有した第3のレーザ光7が照射される。この各レーザ光5、7による光ポンピング作用により、原子ビーム3の基底準位 $F=4$ の原子のエネルギー状態は基底準位 $F=3$ に遷移する。

【0042】エネルギー状態が基底準位 $F=3$ に遷移された原子ビーム3の原子は一対のHバンド型リング共振器26a、26bを用いた空洞共振器8bへ入射される。

【0043】この空洞共振器8bには、図2に示す一対のコイル21a、21bにて、原子ビーム3の進行方向に直交する方向でかつ空洞共振器8b内のマイクロ波の磁界方向と平行な方向に一樣な静磁界(C磁界)12が印加されている。

【0044】空洞共振器8bへ入射されたエネルギー状態が基底準位 $F=3$ に遷移された原子ビーム3の原子は、この空洞共振状態の空洞共振器8bの両端に穿設された一対の貫通孔13a、13bを通過する過程で、マイクロ波遷移が行われ、エネルギー状態が基底準位 $F=4$ へ移る。

【0045】空洞共振器8bを通過してエネルギー状態が基底準位 $F=4$ になった原子ビーム3の原子は、第2のレーザ光源14から出力された第1のレーザ光5に近い波長を有した第2のレーザ光15が照射される。その結果、このレーザ光15によって、原子ビーム3の基底準位 $F=4$ のエネルギー状態にある原子は励起準位 $F'=5$ へ励起され、ごく短時間の後に、蛍光を発して元の基底準位 $F=4$ へ戻ることを繰り返す。

【0046】この遷移の過程で放出される原子ビーム3の蛍光が光検出器16で検出され、電気信号に変換されてサーボ増幅器11へ送出される。サーボ増幅器11は、水晶発振器9の発振周波数 f を順次変化させていって、入力した光量(ビーム電流)が最大値となる発振周波数 f を検出して、この発振周波数 f を標準周波数 f_s とする。そして、水晶発振器9から標準周波数信号17が出力される。

【0047】なお、このようなレーザ光源にセシウム原子の D_1 線(光)波長 λ ($=894.3\text{nm}$)と同一の

波長を有するレーザ光を使用することもできる。

【0048】次に、このような基本動作を行う原子周波数標準器に組込まれた空洞共振器8bの詳細を説明する。

【0049】図2は空洞共振器8bの斜視図であり、図3はこの空洞共振器8bを構成する一方のHバンド型リング共振器26aの正面図である。この空洞共振器8bは、図示するように、原子ビーム3の経路に沿い、かつ互いに対向して配設された一対のHバンド型リング共振器26a、26bと、両端開口が各Hバンド型リング共振器26a、26b内に連通し、かつ中央部にマイクロ波入力口28が形成されたマイクロ波導入管27とで構成されている。

【0050】このような構成の空洞共振器8bにおいて、マイクロ波入力口28から入力されたマイクロ波は、マイクロ波導入管27を経由して、各Hバンド型リング共振器26a、26bへ進入する。マイクロ波導入管27から各Hバンド型リング共振器26a、26bへ進入したマイクロ波は、図10に示した従来のEバンド型リング共振器22a、22bと同様に、二方向に分離してHバンド型リング共振器26a、26b中を互いに逆方向に進行する。

【0051】このマイクロ波導入管27が取付けられた周上位置の 180° 反対側位置に、原子ビーム3の貫通孔13a、13bが穿設されている。この位置では、2つの向きのマイクロ波は強度が同一で合成された結果、その進行波成分は0となる。つまり、マイクロ波の位相分布は小となり、これによる周波数誤差は小さくなる。したがって、マイクロ波入力口28から、この空洞共振器8bのマイクロ波導入管27と各Hバンド型リング共振器26a、26bとの寸法で定まる共振周波数 ν を有するマイクロ波を印加すると、空洞共振器8b内にマイクロ波の多数の定在波が発生する。

【0052】具体的には、図2、図3に示すように、マイクロ波の各定在波の最大の磁界発生位置とその位置での磁界方向は、各Hバンド型リング共振器26a、26bの周方向の各位置に点線矢印で示される位置と方向である。したがって、この磁界方向は原子ビーム3の方向と直交している。一方、マイクロ波の各定在波の最大の電界発生位置とその位置での電界方向は、各Hバンド型リング共振器26a、26bの軸方向に実線矢印で示される位置と方向である。したがって、この電界方向は原子ビーム3の方向と平行である。

【0053】このようなモードでマイクロ波の各定在波が発生するためには、各Hバンド型リング共振器26a、26bにおける原子ビーム3方向(電界方向)の幅 W_a を、原子ビーム3方向と直交する方向(磁界方向)の高さ T_a に対して $1/2$ 倍以下に設定する必要がある。

【0054】なお、このように、リング型の共振器において、周方向に向かって磁界方向が変化していくのをHベンド型リング共振器と称する。

【0055】このように、各Hベンド型リング共振器26a、26b内において、マイクロ波は、共振器内の壁面や底面で反射されることなく、定在波が形成されるので、この形成された定在波の位相（最大電界位置や最大磁界位置）が共振器内の壁面や底面の材質や表面状態によって変動することはない。

【0056】したがって、マイクロ波導入管27が取付けられた周上位置の180°反対位置、すなわち、定在波の磁界の最大位置に形成された貫通孔13a、13bの位置においては、電界変動や磁界変動は生じない。

【0057】よって、原子ビーム3に対するマイクロ波遷移の遷移率が変動することはないので、出力される標準周波数信号17の周波数の変動を極力抑制でき、得られる標準周波数 f_s の精度が上昇する。

【0058】また、Hベンド型リング共振器26a、26bにおける貫通孔13a、13b位置におけるマイクロ波の磁界方向は、図2、図1に示すように、原子ビーム3の進行方向に直交する方向であり、かつ、原子周波数標準器における垂直方向であるので、この空洞共振器8bに静磁界（C磁界）12を印加するためのコイル21a、21bは、図4、図7に示す従来の原子周波数標準器と同様に、空洞共振器8bの両側（上下側）に配設された一対の平面状コイルで構成することが可能である。

【0059】したがって、図9、図11に示した円筒状コイル25が必要である一対のEベンド型リング共振器22a、22bを採用した空洞共振器8aが組込まれた原子周波数標準器に比較して、装置全体の構成をより簡素化でき、装置全体の製造費も低下できる。

【0060】さらに、図4に示す従来の原子周波数標準器におけるラムゼイ（Ramsey）型の空洞共振器8を実施形態のHベンド型リング共振器26a、26bを用いた空洞共振器8bに置き換えるのみで、静磁界（C磁界）を印加する平面状のコイル21a、21bをそのまま転用できる。したがって、図4に示す従来の原子周波数標準器から少ない改造費で上述した高い周波数精度を有した原子周波数標準器を得ることができる。

【0061】なお、本発明は上述した実施形態の原子周波数標準器に限定されるものではない。実施形態の原子周波数標準器においては、原子を単一のエネルギー状態に揃える手段として、当該原子の D_2 線と同一波長を有するレーザー光を原子に照射した。すなわち、光ポンピング型の原子周波数標準器に本発明を適用したが、レーザー光の代わりに、磁界を印加する磁気偏向型の原子周波数標準器にも適用できる。

【0062】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の原子周波数標準器においては、原子に対してマイクロ波遷移を行なわせるための空洞共振器を一対のHベンド型リング共振器を用いて構成している。したがって、構成を複雑化することなく、マイクロ波の磁界方向と一致する静磁界（C磁界）を発生させ、空洞共振器内の定在波の位相変動を抑制でき、出力される標準周波数を高い精度に維持することができる。

10 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態に係わる原子周波数標準器の概略構成図

【図2】同実施形態の原子周波数標準器に組込まれた空洞共振器の形状を示す斜視図

【図3】同空洞共振器を構成するHベンド型リング共振器の正面図

【図4】従来の原子周波数標準器の概略構成図

【図5】セシウム原子の D_2 線に関するエネルギー準位を示す図

20 【図6】セシウム原子とマイクロ波の共振特性を示す図

【図7】従来の原子周波数標準器に組込まれたラムゼイ型の空洞共振器の形状を示す斜視図

【図8】同ラムゼイ型の空洞共振器の正面図

【図9】原子周波数標準器に組込まれる従来のEベンド型リング共振器を用いた空洞共振器の形状を示す斜視図

【図10】同Eベンド型リング共振器の正面図

【図11】同従来のEベンド型リング共振器を用いた空洞共振器及び静磁界を発生させるための円筒状コイルを示す図

30 【符号の説明】

1…Cs原子ビーム管

2…Cs炉

3…原子ビーム

4…第1のレーザー光源

6…第3のレーザー光源

8、8a、8b…空洞共振器

9…水晶発振器

10…周波数合成・逡倍器

11…サーボ増幅器

40 12…静磁界（C磁界）

13a、13b…貫通孔

14…第2のレーザー光源

16…光検出器

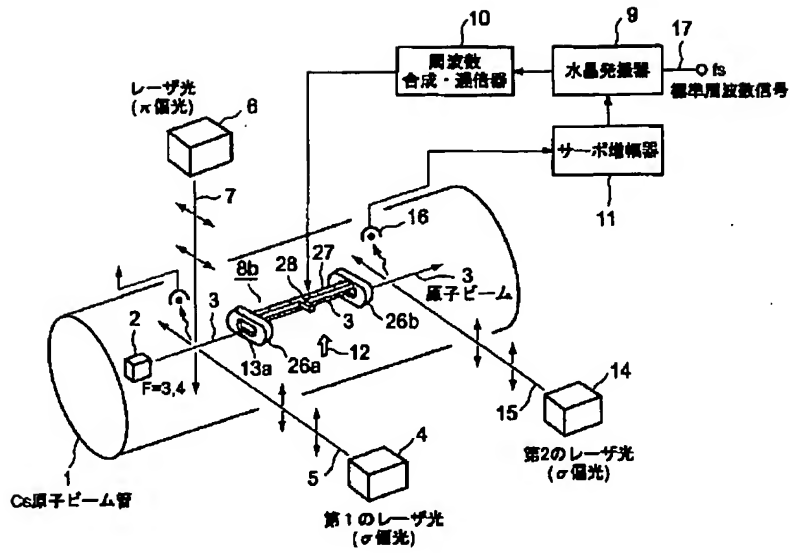
22a、22b…Eベンド型リング共振器

26a、26b…Hベンド型リング共振器

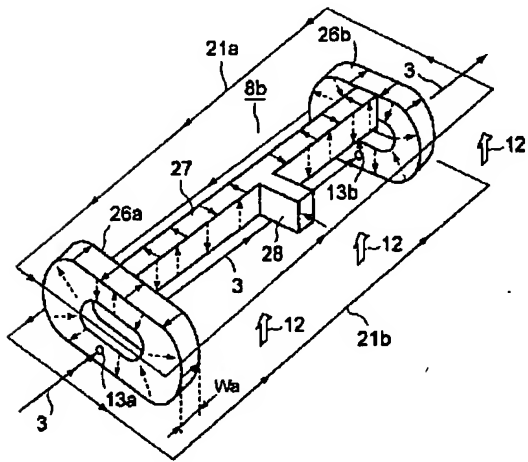
27…マイクロ波導入管

28…マイクロ波入力口

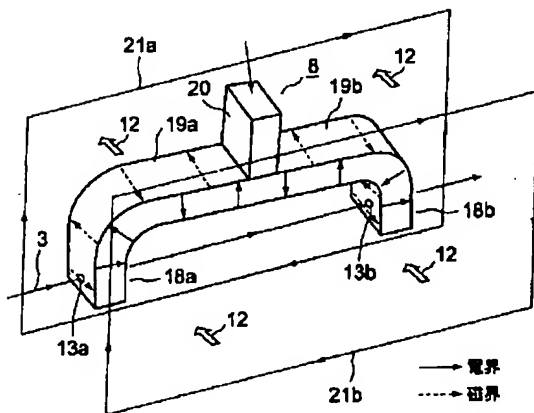
【図1】



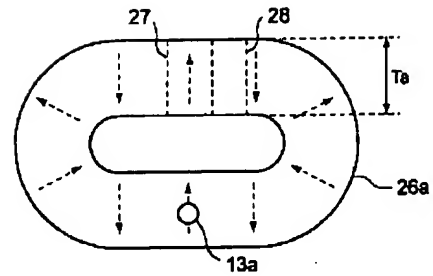
【図2】



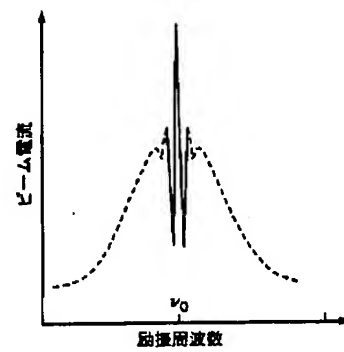
【図7】



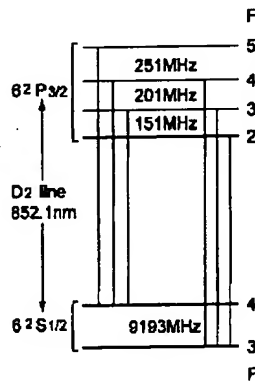
【図3】



【図6】



【図5】



【図8】

